

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт
институт

Межинститутская базовая кафедра
«Прикладная физика и космические технологии»
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ В.Е. Косенко
подпись инициалы, фамилия
« _____ » _____ 20__ г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

РАЗРАБОТКА РАБОЧЕГО МЕСТА ДЛЯ РАСКРЫТИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ
СИСТЕМ ОБСЕРВАТОРИИ МИЛЛИМЕТРОН
тема

15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств»
код и наименование направления

15.04.05.02 «Технология космических аппаратов»
код и наименование магистерской программы

Научный руководитель	_____	доцент МБК ПФКТ канд. техн. наук	_____
	подпись, дата	должность, ученая степень	Г.В. Двирный инициалы, фамилия
Выпускник	_____		Е.В. Дубровина инициалы, фамилия
	подпись, дата		
Рецензент	_____	Ведущий инженер АО «ИСС»	_____
	подпись, дата	должность, ученая степень	С.В.Хаецкий инициалы, фамилия
Нормоконтролер	_____		Е.С. Сидорова инициалы, фамилия
	подпись, дата		

Красноярск 2017

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт
институт

Межинститутская базовая кафедра
«Прикладная физика и космические технологии»
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ В.Е. Косенко
подпись инициалы, фамилия
« ____ » _____ 20__ г.

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме магистерской диссертации

Студенту Дубровиной Елене Васильевне

фамилия, имя, отчество

Группа МТ15-04 М Направление 15.04.05 «Конструкторско-

номер

код

технологическое обеспечение машиностроительных производств».

Специализированная программа подготовки 15.04.05.02 «Технология

код

космических аппаратов».

Тема магистерской диссертации (МД): Разработка рабочего места для раскрытия механических систем обсерватории Миллиметрон

Утверждена приказом по университету № 16482/с от 30.10.2015 г.

Руководитель МД: Двирный Гурий Валерьевич канд. техн. наук. доцент Межинститутской базовой кафедры «Прикладная физика и космические технологии».

Исходные данные для МД: Рассмотреть трансформируемые элементы с возможностью самостоятельного складывания и развертывания в процессе штатной работы на орбите в обсерватории Миллиметрон. Рассмотреть способы обезвешивания механических систем космического аппарата.

Разработать оборудование для обезвешивания механической системы теплозащитных экранов обсерватории Миллиметрон.

Перечень рассматриваемых вопросов (ВКР): Анализ конструкций и параметров космической обсерватории Миллиметрон, проведение раскрытия механической системы теплозащитных экранов обсерватории Миллиметрон.

Перечень разделов МД:

1 Космическая обсерватория Миллиметрон

2 Способы раскрытия механических систем КА

3 Разработка рабочего места для испытания системы теплозащитных экранов обсерватории Миллиметрон

Иллюстрационный материал: слайды презентации в количестве 16 штук.

Руководитель ВКР _____

Подпись

Г.В. Двирный

инициалы и фамилия

Задание принял к исполнению _____

подпись

Е.В. Дубровина

инициалы и фамилия студента

« ____ » _____ 2015г.

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация по теме «Разработка рабочего места для раскрытия механических систем обсерватории Миллиметрон» содержит 74 страницы текстового документа, 16 использованных источника, 26 иллюстрации, 4 таблицы.

КОСМИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ МИЛЛИМЕТРОН, МЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА, СПОСОБЫ ОБЕЗВЕШИВАНИЯ, РАБОЧЕЕ МЕСТО, КОМПЛЕКТ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ.

В данной магистерской диссертации представлена разработка рабочего места для раскрытия механических систем теплозащитных экранов обсерватории Миллиметрон. Работа состоит из пояснительной записки.

В магистерской диссертации рассмотрены механические системы обсерватории Миллиметрон. Представлены способы раскрытия механических систем космического аппарата, виды наземной экспериментальной отработки.

В специальной части магистерского проекта приведены составные части рабочего места.

Проведена юстировка фермы опорной и спиц системы теплозащитных экранов с помощью лазерного радара. Приведены, подтверждающие точность юстировки, данные.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	7
1 Космическая обсерватория Миллиметрон	9
1.1 Назначение космической обсерватории Миллиметрон	9
1.2 Конструкции и механические системы обсерватории Миллиметрон	10
1.2.1 Система раскрытия рефлектора.....	13
1.2.2 Система пассивного охлаждения из теплозащитных экранов	17
1.2.3 Система активного охлаждения космического телескопа.....	20
2 Способы раскрытия механических систем космического аппарата.....	24
2.1 Испытания механических систем.....	24
2.2 Цели и задачи проведения экспериментальной отработки космического аппарата.....	26
2.3 Классификация способов обезвешивания	27
2.3.1 Способы пассивного обезвешивания	28
2.3.2 Способы пассивно - активного обезвешивания.....	31
2.3.3 Способы активного обезвешивания	35
2.4 Виды наземной экспериментальной отработки механических систем космического аппарата	40
2.4.1 Раскрытие механических систем космического аппарата с помощью бассейна нейтральной плавучести.....	41
2.4.2 Раскрытие механических систем космического аппарата методом свободного падения.....	42
2.4.3 Раскрытие механических систем космического аппарата с помощью стенда (специального оборудования).....	43
2.5 Технические требования для создания условий невесомости	48
3 Разработка рабочего места для испытания системы теплозащитных экранов обсерватории Миллиметрон	51
3.1 Цели и задачи проведения испытаний системы теплозащитных экранов	51
3.2 Этапы проведения работ по разработке рабочего места.....	51

3.3 Назначение комплекта для испытаний системы теплозащитных экранов ...	52
3.4 Состав и назначение основных элементов комплекта для испытаний системы теплозащитных экранов	55
3.5 Юстировка подставки и спиц системы теплозащитных экранов.....	64
Заключение	70
Список сокращений	71
Список использованных источников	73

ВВЕДЕНИЕ

Работы по созданию крупногабаритных конструкций космических аппаратов проводились еще в 80-х гг. XX века. Однако их широкое внедрение в космические телекоммуникационные системы начинается только сейчас. Увеличение размеров космических антенн позволяет повысить коэффициент их использования.

В связи с этим в настоящее время множество предприятий космической отрасли ведут интенсивные научно-исследовательские и проектно-конструкторские работы, направленные на разработку бортовых антенн КА все больших диаметров. Однако увеличение диаметра накладывает дополнительные сложности на процесс их испытаний.

Анализ существующих на мировом рынке крупногабаритных трансформируемых конструкций показал, что, несмотря на определенные достижения в этой области, лишь немногие из них способны в невесомости обеспечить точность соответствия заданной формы и необходимую жесткость конструкции. Не всегда удается добиться и их надежного раскрытия. Причина в нарушении технологии на любом из следующих этапов:

- 1изготовление деталей и узлов с учетом ресурсных характеристик конструкции;
- 2высокоточная сборка на стендовом комплексе;
- 3стендовое тестирование космического телескопа.

Одним из важнейших условий испытаний крупногабаритных трансформируемых конструкций является ликвидация весовой составляющей элементов гибкой конструкции для устранения ее деформации или разрушения под действием силы земного тяготения при наземных испытаниях конструкции (экспериментального уточнения или идентификации параметров математической модели конструкции механизмов на земле) или при физической отработке и проверке работы системы управления на земле до проведения летных испытаний.

Поэтому особое значение приобретает исследование, направленное на создание способов и устройств, позволяющих производить наземные испытания раскрытия конструкций КА больших габаритов, в искусственно созданных условиях имитирующих невесомость.

[изъято 1, 3 главы]

2 Способы раскрытия механических систем космического аппарата

2.1 Испытания механических систем

Испытаниям механизмов раскрытия перед полетом должно быть уделено много внимания. Многочисленных отказов на орбите удастся избежать за счет обнаружения возможных отказов во время наземных испытаний. Раскрываемый летный узел должен пройти хорошую проверку. Чем полней объём испытаний на соответствие требований предъявляемых к космическому аппарату (КА), тем маловероятней их отказ при использовании по целевому назначению. Стандартные правила определения объема испытаний, необходимого для механизма раскрытия, определяется на проектных стадиях разработки [7].

При планировании экспериментальной отработки решается задача поиска оптимального варианта этой отработки. В качестве критериев оптимальности принимаются минимальная стоимость, минимальные сроки и надежность отработки.

Под стоимостью понимают стоимость всех работ, связанных с проведением экспериментов на всех этапах, включая и затраты на проектирование, изготовление и освоение испытательного оборудования.

Минимизация сроков экспериментальной отработки является предпосылкой сокращения сроков создания КА.

Понятие надежности как критерия оптимальности программы отработки включает в себя довольно широкие требования. Прежде всего, это обеспечение заданной безотказности работы всех систем КА в штатных условиях эксплуатации и в некоторых возможных нештатных ситуациях. Это так же необходимость и точность экспериментального получения основных параметров системы, подтверждающих обеспечение достижения цели, поставленной перед создаваемым аппаратом.

Основные виды испытаний:

1 лабораторные испытания испытание, проводимые в лабораторных условиях. Объектами испытаний являются объекты низших уровней такие как материалы, элементы, узлы, приборы.

2 испытания с использованием моделей основываются на использовании предметно-математических моделей, которые конструируются из элементов иной (по сравнению с оригиналом) физической природы, но описываются таким же математическими моделями, что и оригинал.

3 стендовые испытания испытание объекта на испытательном оборудовании, представляющем собой технические устройства, имитирующие физические воздействия, которым подвергается КА в натуральных условиях. Испытательное оборудование может объединяться по направлениям и образовывать, например, комплексы механических, тепловых, электрических, климатических, химических, биологических, электромагнитных и радиационных испытаний.

4 полигонные испытания испытание объекта, проводимые на испытательном полигоне.

5 эксплуатационные испытания испытание объекта в условиях его штатной эксплуатации.

6 автономные испытания испытание, в которых испытываются отдельные составляющие сложной технической системы КА.

7 комплексные испытания проводятся либо для группы непосредственно связанных систем КА, либо всего КА с целью проверки нормального функционирования систем КА после проведения монтажно-сборочных работ [7].

2.2 Цели и задачи проведения экспериментальной отработки космического аппарата

Целью экспериментальной отработки КА является доведение КА в целом, а так же комплектующих его блоков и агрегатов до состояния, полностью удовлетворяющего требованиям технического задания.

Экспериментальная отработка, является естественным продолжением проектирования аппарата, завершает процесс создания КА и самым тесным образом переплетается с этапами проектирования. При проектировании каждого КА учитываются теоретические предпосылки и опыт в создании других КА, опыт их отработки, результаты, полученные при проведении этих исследований. Однако этого опыта бывает недостаточно при проектировании новых аппаратов, отличающихся от предшествующих и по объему и уровню решаемых задач, и по предъявляемым к нему требованиям, выполнение которых далеко не всегда возможно с помощью известных, хорошо отработанных схем и конструктивных решений. Возникает необходимость в применении новых материалов и конструкции, принципиально новых систем, которые к моменту проектирования КА практически еще не проверены, поэтому не могут считаться надежными. Экспериментальную отработку всех этих конструкторских новшеств необходимо проводить одновременно с разработкой эскизного проекта, а в ряде случаев и со значительным опережением, так как в эскизный проект должны вноситься решения в той или иной степени апробированные расчетом и экспериментом.

Основными задачами проведения испытаний сложных систем являются:

- 1 оценка правильности основных конструктивных и схемных решений, положенных в основу проекта КА, корректировка их в процессе отработки.

- 2 проверка и отработка функционирования агрегатов КА, отдельных конструктивных узлов и приборов в эксплуатационных условиях и отработка их взаимодействия в общей конструктивной схеме.

3 определение летно-технических характеристик КА в полном диапазоне условий его применения.

4 исследования и в процессе отработки устранение причины возможных неисправностей, которые могут привести к срыву программы полета КА и его гибели.

5 отработка технологии эксплуатации КА [7].

2.3 Классификация способов обезвешивания

Для успешного раскрытия механических систем космического аппарата в космическом пространстве, предварительно необходимо произвести наземные испытания в искусственно созданных условиях имитации невесомости. Чтобы приблизиться к условиям невесомости необходимо максимально обезвесить тем или иным способом каждую из подвижных частей испытуемого изделия. Для этих целей, на практике широко используются специальные стенды.

Выбор системы обезвешивания определяется кинематикой раскрывающегося звена, динамическими его характеристиками, требуемой точностью обезвешивания, числом испытываемых изделий и др.

В соответствии с принципом действия возможны различные системы обезвешивания:

- на воздушных опорах;
- на электромагнитной подвеске;
- на аэростатической подвеске;
- в гидросреде;
- в самолетах, летящих по специальной траектории;

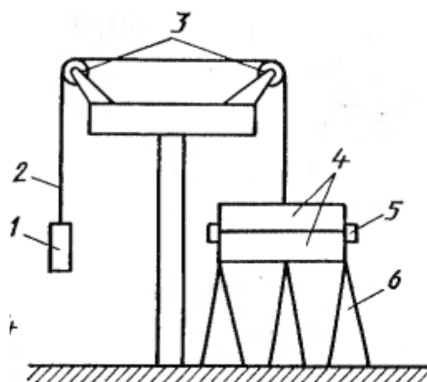
механические с применением тросов, противовесов, пружин, роликов, рычагов, шарниров и др.

На сегодняшний день известны различные способы имитации невесомости, используемые при наземных испытаниях механических

устройств крупногабаритных трансформируемых изделий (КТИ). В зависимости от способов формирования сил обезвешивания все эти способы можно разделить на пассивные, пассивно-активные и активные. В активных системах обезвешивание достигается посредством регулирования момента создаваемым электроприводом, в пассивных – посредством использования противовесов, в комбинированных (пассивно-активных) - сочетаются свойства первых двух систем.

2.3.1 Способы пассивного обезвешивания

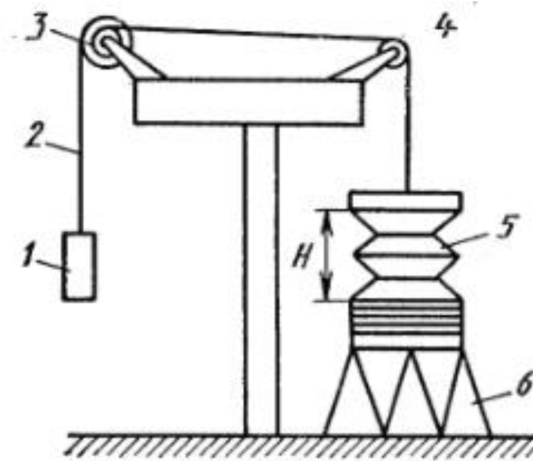
На рисунке 6 представлена схема статической системы обезвешивания с вертикальной точкой приложения усилия. Она предназначена для отработки трансформирующихся систем типа «слоистой» платформы при условии, что усилие обезвешивания не меняется.



1 — противовес; 2 — трос; 3 — блок; 4 — платформа; 5 — замок;
6 — подставка

Рисунок 6 – Схема статического обезвешивания с верхним приложением нагрузки

Для случая, когда изменяется усилие обезвешивания и известен закон его изменения, схема обезвешивания представлена на рисунке 7.



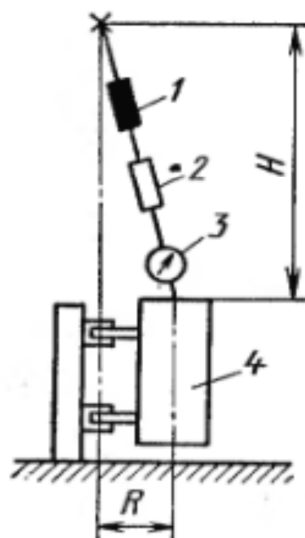
1 — противовес; 2 — трос; 3 — улитка; 4 — блок;
 1 — трансформирующийся кожух; 6 — подставка

Рисунок 7 – Схема обезвешивания при изменении усилия

В качестве примера объекта испытания выбран трансформирующийся кожух 5 с торцевыми шпангоутами, требующий малых скоростей раскрытия. Воспроизведение заданного закона изменения усилия обезвешивания от величины H производится с помощью улитки 3, представляющей собой барабан переменного диаметра.

Схема обезвешивания в горизонтальной плоскости, представленная на рисунке 8, применяется в тех случаях, когда есть возможность поднять точку крепления системы достаточно высоко, чтобы уменьшить усилия в узлах вращения.

Упругий элемент 1 предназначен для компенсации неточностей установки системы, тандер 2 предназначен для регулировки и настройки системы. Критерием минимума погрешности усилия обезвешивания является условие $H \gg R$ [8].



1 — упругий элемент; 2 — тандер; 3 — динамометр; 4 — узел

Рисунок 8 – Схема обезвешивания в горизонтальной плоскости

Помимо представленных способов обезвешивания с использованием пассивных методов обезвешивания в качестве основных элементов стендов используются тросы, противовесы, пружины, ролики, рычаги, шарниры и многое другое.

Использование пассивных способов обезвешивания позволяет создавать простые механические системы обезвешивания. Они достаточно универсальны, легко перенастраиваемы, надежны в условиях изменения температур и давления, но имеют малую точность обезвешивания за счет эффекта «присоединенных масс» и неприменимы в сложных многозвенных конструкциях, в частности, относительно рефлекторов антенн КА больших диаметров.

Недостатками данной системы обезвешивания являются:

1 влияние трения в трособлочных узлах и шарнирах системы обезвешивания на работу механизма трансформации объекта испытаний. Необходимо также учитывать, что величина этих паразитных сил резко нарастает с ростом габаритов и массы объекта испытаний;

2 влияние т. н. присоединенной массы системы обезвешивания на работу механизма трансформации объекта испытаний;

3 ограниченное число (обычно несколько единиц) обезвешиваемых частей объекта испытаний;

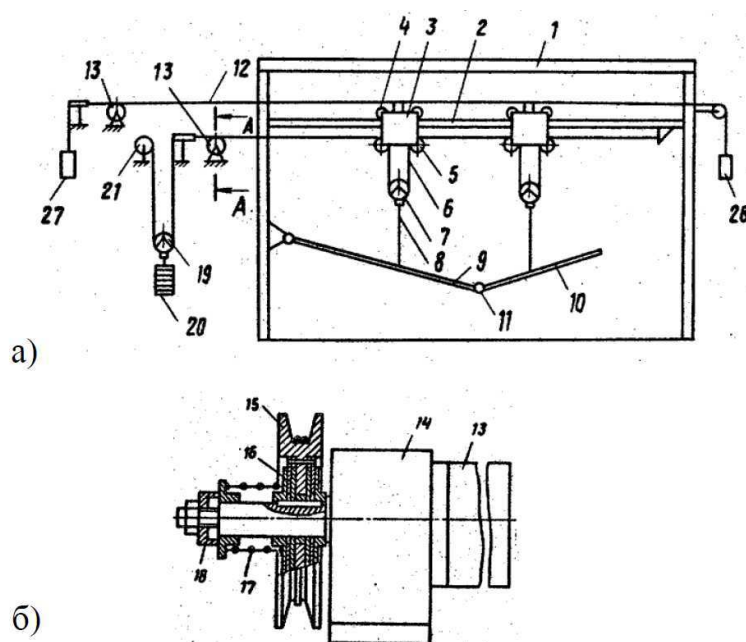
4 ограниченный диапазон перемещений обезвешиваемых элементов по вертикали и в горизонтальной плоскости.

2.3.2 Способы пассивно – активного обезвешивания

Одной из известных идей стенда с использованием комбинированного способа обезвешивания, является стенд для моделирования невесомости двухзвенных механизмов, изложенный в патенте СССР № 1467418, суть которого заключается в повышении точности моделирования невесомости за счет исключения влияния сил трения в элементах подвесок стенда и синхронного перемещения каждой подвески в нужном направлении.

Стенд для моделирования невесомости двухзвенных механизмов представлен на рисунке 9. Его работа основана на использовании системы противовесов, кареток и электродвигателей, работающих по определенным алгоритмам. Под действием своих приводов 11 звенья 9 и 10 испытуемого механизма перемещаются в вертикальной плоскости, а их массы уравновешены противовесом 20. При появлении в ветвях панелей гибких элементов 6 горизонтальных составляющих от усилий нагрузки начинают перемещаться соответствующие каретки 3 и связанные с ними через гибкие элементы 12 противовесы 27 и 28. Стенд снабжен двумя уравнительными механизмами, включающими в себя каждый электродвигатель 13 с редуктором 14, установленный на выходном валу редуктора 14 регулировочный шкив 15 и фрикционную муфту 16 с пружиной 17 и гайкой 18. Одни концы основных гибких элементов 6 закреплены на основании 1, а другие их концы через дополнительный подвижный блок 19, закрепленный на первом противовесе 20, закреплены на барабане 21, установленном на

основании 1. Электродвигатели 13 через регулировочные шкивы и фрикционные муфты компенсируют усилия перемещения кареток 3 по направляющим 2 и гибких элементов 6 по шкивам 5 и подвижным блокам 7. Один электродвигатель управляется от системы управления приводами 11, а второй – от устройства управления, установленного на одной из кареток 3 и реагирующего на усилие натяжения гибких элементов 6 [9].



- 1 – основание; 2 – направляющая; 3 – каретка; 4 – ролики; 5, 15- шкив;
 6, 8, 12 – гибкий элемент; 7, 19 – подвижный блок; 9, 10 – звено; 11 – привод;
 13 – электродвигатель; 14 – редуктор; 16 – фрикционная муфта; 17 – пружина;
 18 – гайка; 20, 27, 28 – противовес; 21 – барабан

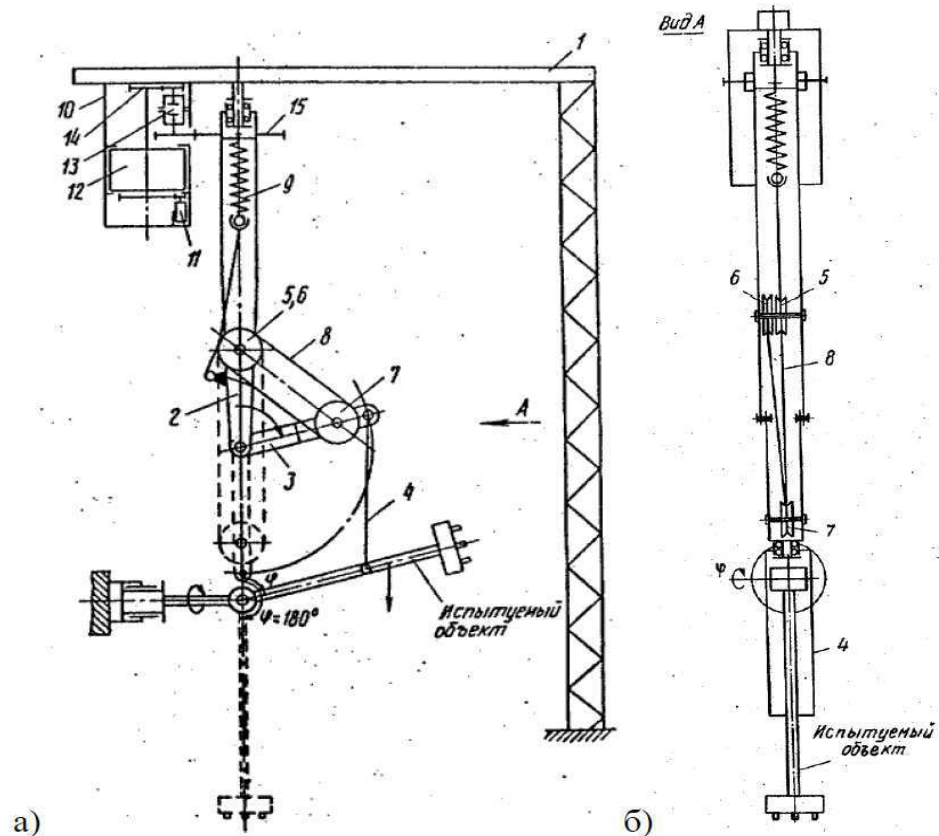
Рисунок 9 - Стенд для моделирования невесомости двухзвенных механизмов а) вид сбоку, б) сечение А – А.

Таким образом, компенсация сил трения в подвижных элементах стенда осуществляется благодаря приложенным компенсирующим силам созданным электродвигателями через шкивы 15 и муфты 16, работа приводов 11 протекает при имитации невесомости звеньев 9 и 10.

Недостатками предложенного способа является сложность конструкции, невозможность подсоединиться к центру масс подвижного звена, при некоторых вариантах его конструктивных особенностей, значительная погрешность имитации невесомости, невозможность измерения характеристик обезвешиваемой конструкции (моментов сопротивления, весовой составляющей, скорости перемещения подвижных элементов конструкции, предназначенных для работы в состоянии невесомости в наземных условиях).

К другому изобретению, предназначенному для испытания конструкций, совершающих в процессе функционирования сложные пространственные перемещения, в условиях имитации невесомости относится стенд, представленный на рисунке 10, описание которого содержится в патенте СССР № 1722946.

Устройство работает следующим образом: испытуемый объект соединен с подвеской 4 исполнительного механизма посредством шарнирного узла. При этом упругий элемент 9, взаимодействуя с испытуемым объектом через трособлочную систему 5-8, вилку 3 и подвеску 4, обеспечивает обезвешивание испытуемого объекта.



1 - основание; 2, 3 – вилка; 4 – подвеска; 5, 6, 7 – блок; 8 – трос; 9 – пружина;
10 – привод; 11 – электродвигатель; 12 – зубчатый редуктор; 13 – многодисковая муфта; 14 – выходная шестерня; 15 – шестерня

Рисунок 10 - Стенд имитатора пониженной гравитации а) общий вид исполнительного механизма имитатора пониженной гравитации; б) вид А

В процессе испытания объект испытаний может совершать перемещение в вертикальной плоскости на угол φ и вокруг своей продольной оси на угол θ . Исполнительный механизм обеспечивает отслеживание пространственного положения объекта испытаний за счет поворота вилки 3 синхронно с перемещениями объекта в вертикальной плоскости на угол φ . При углах φ , отличных от 180° , момент сопротивления вращению на шестерне 15 превышает допустимый крутящий момент на муфте 13, в результате чего муфта 13 размыкает кинематическую связь между шестерней 14 редуктора 12

и шестерней 15, жестко закрепленной навилке 2, и вращение навилку 2 не передается.

При перемещении объекта на угол φ , близкий к 180° , момент сопротивления вращению на шестерне 15 становится близким к нулю. Срабатывает муфта 13, восстанавливается кинематическая связь между шестернями 14 и 15, в результате чего усилие от привода 11 передается навилки 2 и 3, которые приводятся во вращение относительно неподвижной подвески 4.

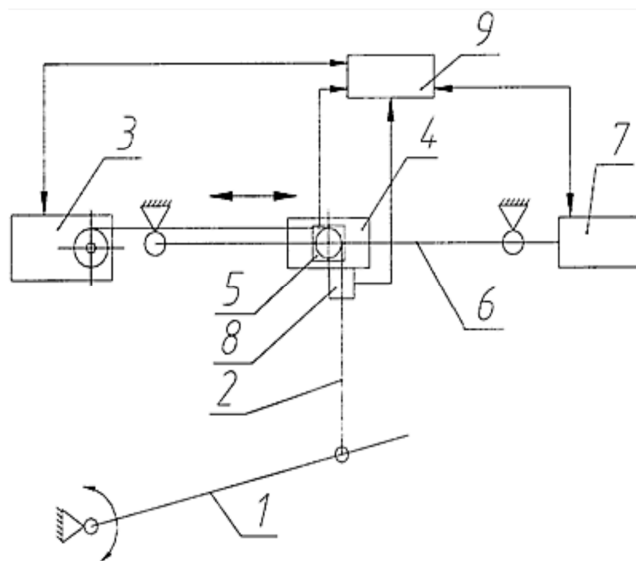
При $\varphi = 180^\circ$ объект и связанная с ним посредством подвески 4вилка 3 начинают перемещаться. Одновременно прекращается вращениевилок 2 и 3, так как этому препятствует подвеска 4, связанная с объектом, возрастает момент сопротивления вращению на шестерне 15, срабатывает муфта 13 и разрывает кинематическую связь между шестерней 14 и 15. Таким образом происходит переход через положение «мертвой точки» [10].

Преимуществом данного стенда является более расширенные функциональные возможности исполнительного механизма за счет обеспечения возможности испытания объектов, совершающих в процессе функционирования сложные пространственные перемещения, благодаря описанному выше способу. Недостатком данного стенда является сложность конструкции, а также еще большее ее усложнение по мере увеличения составных элементов обезвешиваемых конструкций, относительно невысокая точность обезвешивания.

2.3.3 Способы активного обезвешивания

Указанные недостатки для стенда моделирования невесомости двухзвенных механизмов ранее представленный на рисунке 9 стремятся исправить в следующем изобретении, описанном в патенте RU 2334970, в частности, упрощения конструкции и определении характеристик подвижных элементов конструкций, предназначенных для работы в состоянии

невесомости в наземных условиях. Конструкция изобретения приведена на рисунке 11.



1 – обезвешиваемый элемент; 2 – гибкая связь; 3 – электропривод вертикального перемещения; 4 – каретка; 5 – нагрузочная ячейка; 6 - направляющая; 7 – электропривод горизонтального перемещения; 8 – датчик угла; 9 – блок управления

Рисунок 11 - Устройство имитации невесомости механизмов с гибкой конструкцией элементов

Предлагаемое устройство имитации невесомости работает следующим образом: блок управления 9 формирует алгоритм работы устройства имитации невесомости путем снятия значения величин весовой составляющей в точках траектории движения обезвешиваемого элемента (при незадействованном механизме, приводящем в действие обезвешиваемый элемент). Снятие весовой составляющей осуществляется с нагрузочной ячейки 5 при работе электропривода вертикального перемещения 3. Одновременно электропривод горизонтального перемещения 7 каретки 4 по команде с датчика угла 8 поддерживает вертикальное положение гибкой связи 2. После формирования значений величин весовой составляющей приводится в действие механизм

движения обезвешиваемого элемента 1. Данные с нагрузочной ячейки 5 при задействованном механизме движения обезвешиваемого элемента 1 сравниваются в блоке управления 9 со значениями величин весовой составляющей при незадействованном механизме движения обезвешиваемого элемента 1 и блок управления 9, выдает команду о величине скорости на электропривод вертикального перемещения 3. Одновременно электропривод горизонтального перемещения 7 по команде с датчика угла 8 на блок управления 9 сообщает каретке 4 поступательное движение.

Устройство имитации невесомости ориентировано на различные скорости движения обезвешиваемого элемента 1, а также имеет возможность удерживать элемент (конструкцию в целом) в обезвешенном состоянии.

Устройство имитации невесомости позволяет имитировать процесс движения элементов конструкции, имеющих разную скорость движения в обезвешенном состоянии, путем установки системы на каждый отдельный элемент конструкции. Взаимодействие системы обеспечивается через блок управления 9 [11].

Способов имитации невесомости для обезвешивания деталей КТИ существует, очень, много, например система обезвешивания с использованием воздушных опор [12], разгрузки рефлектора антенны с помощью воздушных шаров, использовании специальной конструкции, в состав которой входят воздушные подшипники, использование следящих систем на основе интеллектуальных электроприводов и другие способы обезвешивания элементов КТИ.

Система активного обезвешивания спиц рефлекторов антенн на разрабатываемом в рамках ОКР «Кемчуг» стенде должна решать задачу работоспособности привода раскрытия антенны, чтобы он не испытывал дополнительных моментов, создаваемых силами тяжести ее раскрываемых элементов, на всех этапах их работы от начала раскрытия до его окончания и придания антенне ее рабочей формы. Таким образом, система активного обезвешивания раскрываемых на стенде антенн должна решать задачу

обеспечения инвариантности системы управления приводом раскрытия антенны к весу раскрываемых элементов.

При решении задачи обезвешивания спиц рефлектора антенны, следует рассматривать каждую однозвенную спицу как балку, шарнирно закрепленную своим одним концом на неподвижном основании и подвешенную на тросе.

Стенд, обеспечивающий обезвешивание спиц рефлектора антенн, работает следующим образом.

Каждая из спиц рефлектора антенны должна быть подвешена тросом к каретке, которая перемещается над рефлектором на горизонтальных направляющих в плоскости раскрытия спиц, причем работа каретки должна производиться в режиме слежения за вертикальным положением троса подвеса спиц. Необходимые для обезвешивания спиц силы натяжения в тросах их подвеса в стенде должны обеспечивать системы автоматического управления натяжением тросов, которые с этой целью должны с помощью электроприводов не только поддерживать требуемые силы натяжения тросов, но и наматывать на катушки освобождающиеся части тросов подвеса, размещенные на каретках.

Задачу обеспечения инвариантности работы привода при раскрытии спицы от ее веса можно представить в виде формул:

$$M_A(G) + M_A(F) = 0 \quad (1)$$

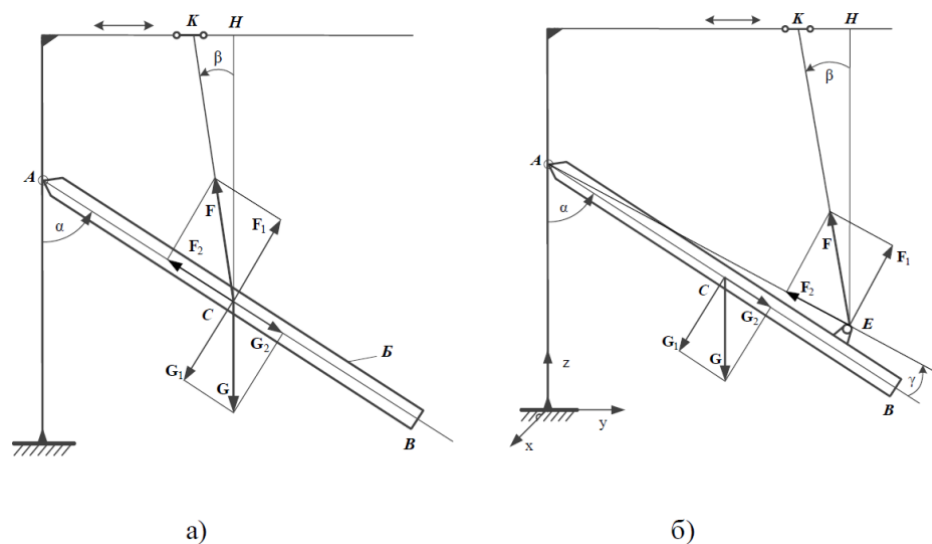
$$F_A(G) + F_A(F) = 0 \quad (2)$$

В равенствах (1) и (2) использованы следующие обозначения: G – вектор силы веса обезвешиваемой спицы; F – вектор силы натяжения троса обезвешивания; $M_A(G)$ – момент, создаваемый вектором силы веса спицы относительно оси A ее разворота при раскрытии; $M_A(F)$ – момент, создаваемый вектором силы натяжения троса относительно оси A ее разворота

при раскрытии; $F_A(G)$ – вектор силы давления на шарнирное сочленение спицы с основанием, создаваемый вектором силы веса спицы; $F_A(F)$ – вектор силы давления на шарнирное сочленение спицы с основанием, создаваемый вектором силы натяжения троса.

Система активного обезвешивания стенда должна обеспечивать выполнение этих равенств за счет генерации такой силы натяжения троса $F(t)$ антенны, при которой выполняются данные равенства.

В рамках решения этой задачи было предложено два варианта алгоритма реализации обезвешивания спицы: при креплении троса подвеса в ее центре масс и на подвижной каретке и при креплении троса подвеса не в центре масс спицы и на подвижной каретке, представленные на рисунке 12



а) при совпадении центра масс балки и точки подвеса троса, б) при несовпадении центра масс балки и точки подвеса троса

Рисунок 12 - Схема обезвешивания балки, шарнирно закрепленной одним из своих концов на жестком основании

Реализация алгоритма обезвешивания на аналитическом уровне при реализации первого варианта обезвешивания балки при креплении подвеса

троса в ее центре масс решается достаточно просто, но при практической реализации возникает ряд проблем, связанных с невозможностью подсоединения подвеса троса к центру масс спицы, так как при полной сборке антенны трудно будет определить местоположение центра масс спицы и поддерживаемой ею части сетеполотна отражателя. К тому же, он будет менять свое положение в зависимости от угла раскрытия спицы. Поэтому целесообразней применить второй вариант схемы обезвешивания балки, при несовпадении ее центра масс и точки подвеса троса, в этом случае, алгоритм обезвешивания спицы будет более сложен, но практически реализуем благодаря отсутствию необходимости крепления подвеса троса в центре масс спицы [13].

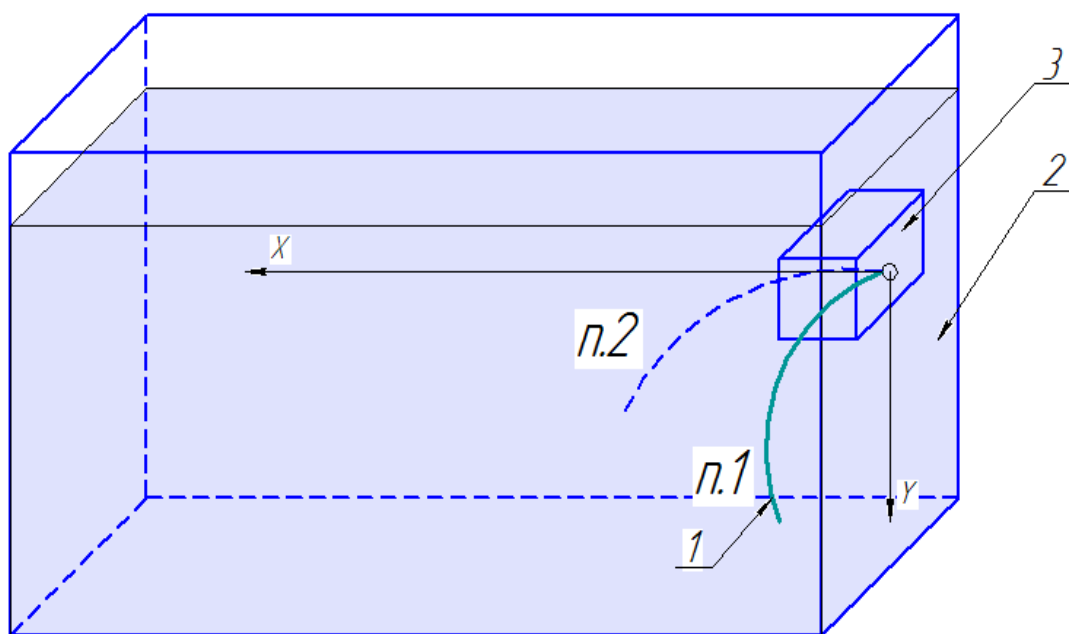
2.4 Виды наземной экспериментальной отработки механических систем космического аппарата

Современная стратегия экспериментальной отработки основывается преимущественно на наземной отработке систем и частей КА при максимально полной имитации (в пределах возможностей имитационных средств) штатных условиях эксплуатации аппарата. Объектами исследовательских испытаний являются макет опытного образца, опытный образец и промышленный образец.

В связи с внедрением в отрасль космических летательных аппаратов крупно габаритных механических систем возникла необходимость поиска новых, но при этом достаточно простых и эффективных способов отработки данных механических систем (МС) при этапе НЭО так как применение традиционных методов либо не удовлетворяют предъявляемым требованиям, либо не могут использоваться из-за конструктивных особенностей. Вот некоторые из возможных схем имитации невесомости:

2.4.1 Раскрытие механических систем космического аппарата с помощью бассейна нейтральной плавучести

С помощью бассейна нейтральной плавучести, раскрытие звена рефлектора антенны происходит за счет электрического привода, который приводит в движение рефлектор из положения 1 в положение 2, рисунок 13.



- 1 – имитатор рефлектора антенны; 2 – бассейн нейтральной плавучести;
3 – блок герметизации электромеханического привода

Рисунок 13 - Стенд для имитации невесомости при помощи бассейна нейтральной плавучести

Основными преимуществами данного стенда являются:

1 отсутствие дополнительного оборудования: направляющие балки, каретки, тросы, грузы-противовесы, держатели грузов, что позволяет увеличить точность расчета при уменьшении точности сборки стенда;

2 возможность одновременной проверки, в случае необходимости, электромеханических приводов и других объектов на герметичность.

Недостатками данного способа обезвешивания являются:

1 необходимость постройки сразу большого бассейна, ориентируясь на максимальный объект использования крупногабаритной конструкции. В связи с этим необходимость в дополнительном оборудовании для подачи и фильтрации воды;

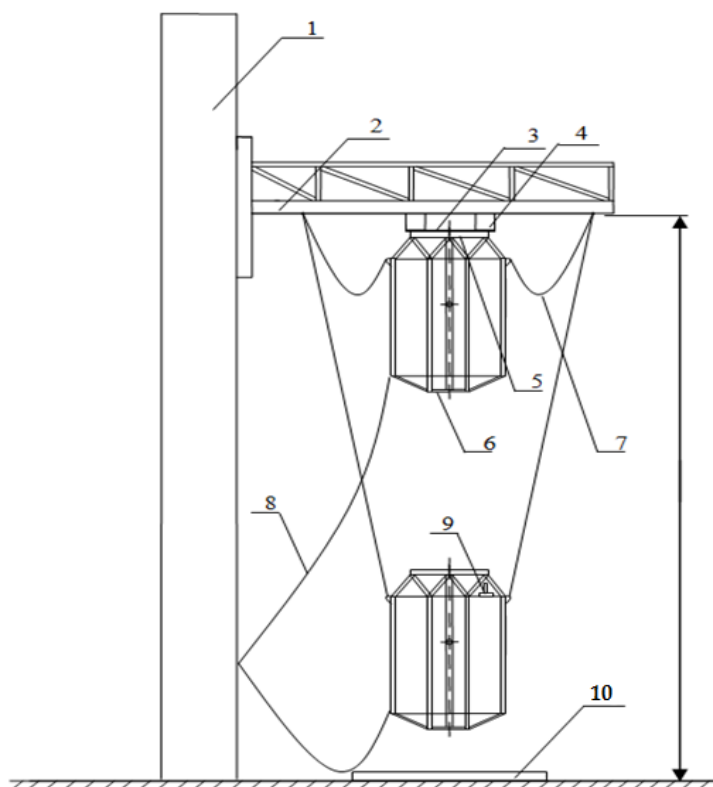
2 необходимость в герметизации всего бассейна, для защиты оборудования от повышенной влажности;

3 Возникновение сложности в учете гидравлического сопротивления воды [14].

2.4.2 Раскрытие механических систем космического аппарата методом свободного падения

Раскрытие МС КА методом свободного падения осуществляется с помощью сбрасывании механической системы с высокой точки положения (башни, вертолета). В таком случае во время падения сила тяжести компенсируется ускорением свободного падения и массой падающих объектов. Аэродинамическое сопротивление воздуха тормозит падение объекта испытаний, поэтому имитация веса происходит частично. При срабатывании системы во время падения регистрируются параметры взаимного движения звеньев механических систем, поэтому вместе с объектом испытаний в падении учувствует и аппаратура регистрации.

На рисунке 14 приведен пример осуществления метода свободного падения.



1 – силовая стена; 2 – кронштейн; 3 – переходник; 4 – траверса; 5 – устройство отделения;
6 – ИВМ; 7 – кабель; 9 – кронштейн; 10 – деревянный настил

Рисунок 14 – Схема проведения бросковых испытаний для проверки функционирования устройства отделения

Основным недостатком данного способа является необходимость предусмотреть средства спасения ОИ и регистрирующей аппаратуры. Для этого в основном используют специальные улавливатели, основанные на упругих средствах спасения или парашютах, если ОИ испытывается в воздухе [15].

2.4.3 Раскрытие механических систем космического аппарата с помощью стенда (специального оборудования)

Самой большой проблемой при испытании конструкции, которая не может поддерживать собственный вес в условиях земной гравитации, является проблема ее разгрузки во время раскрытия в конфигурации полного

раскрытия. Даже если конструкция может поддерживать собственный вес, все же может оказаться необходимым разгружать ее для более точной имитации условий космического пространства. Будет полезно проектировать ее с повышенным запасом прочности, чтобы конструкция была устойчивой, если полученный избыточный вес будет скомпенсирован существенной экономией массы в части крепежной оснастки и наземных такелажных работ. Однако, во многих случаях, раскрываемые конструкции нельзя изготовить с требуемой прочностью.

Самым широко применяемым методом разгрузки раскрываемого механизма является применение системы обезвешивания. Подразумевается, что во время раскрытия все части конструкции движутся известным образом в параллельных горизонтальных плоскостях. На конструкции должны иметься места крепления тросов системы обезвешивания, а движение их плавное без приложения внешних усилий. Простейшей системой подвешивания является прямая балка с подвижными каретками, которая располагается непосредственно над конструкцией.

Критичным моментом, для тракта раскрытия является необходимость иметь малое трение и быть настроенным точно параллельно относительно раскрываемой конструкции, в противном случае могут возникнуть значительные нежелательные механические напряжения (следствие перекосов). Более сложными системами обезвешивания являются, такие, которые обеспечивают боковое движение в дополнение к линейному перемещению, а также системы, которые обеспечивают раскрытие конструкции до принятия круглой формы за счет радиального или кругового движения.

Конфигурация всех типов систем обезвешивания должна быть очень точно и грамотно разработана с тем, чтобы обеспечить достаточное количество точек захватов для плавного взаимодействия весу испытываемой конструкции. Если точек захватов недостаточно, гравитационные силы могут вызвать локальное перенапряжение конструкции. При любом

распределении поддерживающей системы, сила тяжести всегда будет присутствовать и может вызвать смещение положения, усилий или напряжений.

Взаимная настройка оснастки и раскрываемой конструкции может оказаться критичной во всех случаях, но особенно при поддержке больших жестких конструкций, в которой могут возникнуть значительные механические напряжения.

Испытание раскрываемых конструкций на соответствие характеристикам. Эксплуатационные качества раскрываемых конструкций определяется, следующими основными факторами:

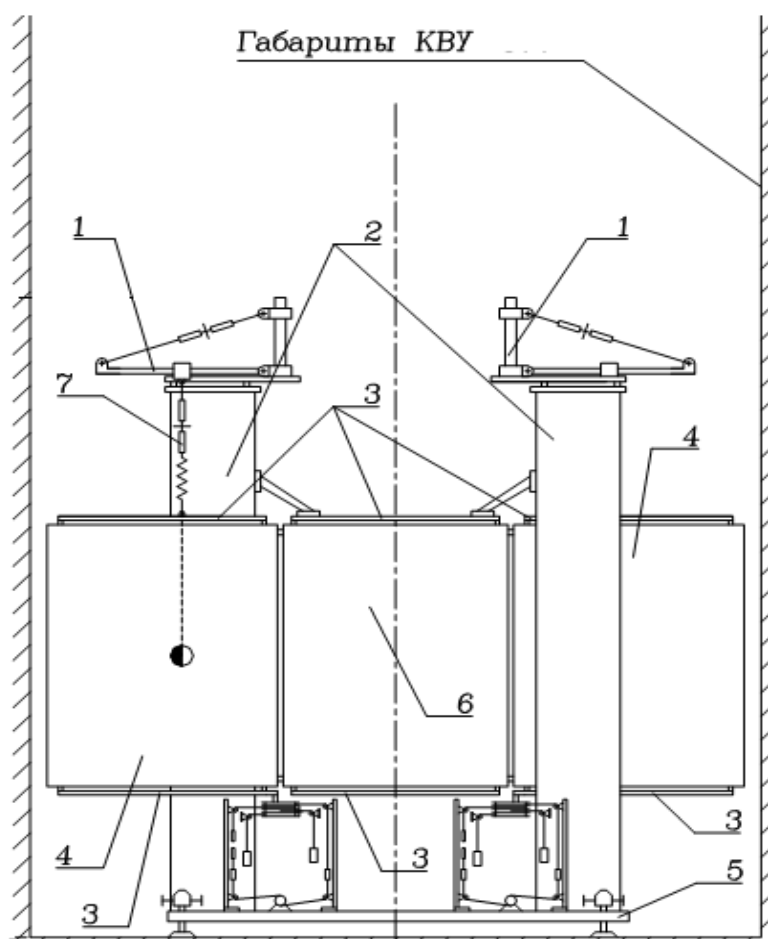
- 1 функциональные возможности;
- 2 настройка;
- 3 жесткость;
- 4 прочность;
- 5 динамика раскрытия.

Как правило, каждый из этих факторов может и должен быть верифицирован при наземных испытаниях до полета.

Функциональные испытания механизмов раскрытия имеют цель продемонстрировать то, что система может раскрываться (и в случае необходимости, возвращаться в исходное состояние), и при этом будут выполняться такие заданные по спецификации параметры, как время раскрытия и движущий момент (усилие). В случае необходимости, должны прикладываться внешние нагрузки для имитации условий на орбите, и также должна отслеживаться динамика раскрытия. Инерция, жесткость и влияние прикладываемых нагрузок обычно имитируются очень неплохо во время наземных испытаний, в отличие от воздействия демпфирования, которое очень сложно имитировать точно вследствие чувствительности к воздействию атмосферы, температуры и оснастки. Запас по движущему моменту (силе) верифицируется во время функциональных испытаний измерением избыточного момента в критической точке во время раскрытия.

Сразу же после раскрытия, должны быть проверены все критичные настройки и допуски. Например, для штанги батарей солнечной БС критичным параметром может оказаться вращение ее вершины [14]. Для многопанельных СБ критичной может быть их настройка (юстировка). Критичные допуски также следует проверить на этом этапе, потому что отличие результатов измерений от прогнозов (в большую или меньшую сторону) может быть показателем того, что не все факторы учтены. Аналогично, после возвратного движения (складывания), также следует верифицировать допуски и настройки, которые могут потребоваться для повторной зачеховки замков. Количественные результаты, полученные при первых функциональных испытаниях, часто используются в качестве базовых для контроля работоспособности приспособления, поскольку последующие испытания отличаются повышенными требованиями, предъявляемым к ним.

Как правило, требования по жесткости или прочности являются самыми важными для раскрываемых систем и, следовательно, должны пройти верификации во время испытаний. Жесткость проще всего измерить, нагрузив полностью раскрытую систему и определить результирующие смещения. Схема раскрытия и определения М ШУбоковых панелей БС в контрольно-весовой установке (КВУ) с обезвешиванием на поворотных балках представлена на рисунке 15.



- 1 – поворотная балка; 2 – колонна; 3 – захват панели; 4 – боковая панель;
 5 – основание с домкратами; 6 – средняя панель; 7 – вывеска панели

Рисунок 15 - Стенд раскрытия панелей

Если прикладываемые нагрузки вызывают колебания троса обезвешивания по типу маятника, восстанавливающее усилие, равное горизонтальной составляющей натяжения троса, стремится вернуть конструкцию в ее ненагруженное положение. Данный «эффект маятника» минимизируется за счет использования длинных тросов обезвешивания конструкции с высоким соотношением жесткости к весу. Однако, если эффект будет существенным, его необходимо учитывать, потому что он будет влиять на измерение жесткости, не зависимо от того, насколько

малыми будут прикладываемые нагрузки и результирующее отклонение. В простых случаях возможно компенсировать этот эффект аналитическими средствами расчета. Жесткость при кручении также можно измерить, если обезвешивающая система спроектирована таким образом, чтобы обеспечить кручение конструкции без ограничений. Вилочные подвесы обеспечивают эту дополнительную степень свободы.

Испытания раскрываемой конструкции на прочность может проводиться до допустимой нагрузки, до предельной нагрузки или до разрушения. Такой тип испытаний, когда используются различные формы поддерживающих приспособлений для разгрузки полностью раскрытой конструкции, в принципе не отличаются от испытаний на жесткость любого другого механизма или конструкции.

2.5 Технические требования для создания условий невесомости

Для отработки механических систем (МС) космических аппаратов в основном используются специализированные рабочие места с системой имитации условий невесомости методом обезвешивания.

Метод обезвешивания заключается в том, что элемент МС при помощи трехстепенного шарнира закрепить в центре масс и приложить к шарниру силу, которая в каждый момент времени была бы противоположно направлена силе тяжести, действующей на элемент, а ее абсолютная величина равнялась бы величине силы тяжести элемента. Тогда этот элемент получил бы все шесть степеней свободы и находился бы в состоянии квазиневесомости.

Движение кареток по направляющим позволяет перемещать точку подвеса элемента МС на каретке по горизонтали вслед за движением центра масс элемента, обеспечивая нахождение точки подвеса элемента МС и его центра масс на одной вертикали, что является первым условием обезвешивания.

Движение троса, соединяющего центр масс элемента МС с грузом-противовесом, по роликам позволяет перемещать груз-противовес при вертикальных перемещениях центра масс элемента МС, обеспечивая равенство абсолютных величин сил натяжения и тяжести, действующих на элемент МС, что является вторым условием обезвешивания.

Точность выполнения обоих условий обезвешивания определяет точность имитации невесомости на стенде при раскрытии МС.

Однако при реализации метода обезвешивания на стенде имитации невесомости возникает ряд трудностей по обеспечению точности имитации невесомости.

Из-за наличия сил трения в элементах стенда и их инерционности идеального обезвешивания звеньев механических систем не происходит. В результате часть энергии приводов механических систем тратится на преодоление сил сопротивления, действующих со стороны стенда на механическую систему, из-за этого изменяются кинематические параметры звеньев, возникают перекосы в шарнирных узлах и, как следствие этого, неточность позиционирования звеньев механической системы. Также часть энергии тратится (или добавляется) за счет работы силы тяжести, часть энергии тратится на колебания в системе обезвешивания.

Точность имитации невесомости на существующем стендовом оборудовании до настоящего времени еще позволяла решать задачи по обеспечению качества и надежности функционирования механических систем. Однако в настоящее время разрабатываемые механические системы, из-за своих больших массово-инерционных характеристик, и из-за повышенных требований к точности позиционирования требует для отработки высокую точность имитации невесомости.

Погрешности, вносимые на существующих стендах, могут оказаться для такой системы неприемлемыми настолько, что нельзя будет судить не только об обнаружении недостатков конструкции, но и об ее функционировании в условиях стенда.

Для решения задач экспериментальной отработки данной механической системы, необходимо качественно снизить уровень погрешностей имитации невесомости, вносимых стендовым оборудованием. Один из путей, оснастить стенды автоматическими системами, обеспечивающими регулирование процесса обезвешивания с заданной наперед точностью, обеспечивающей качественную экспериментальную отработку.

На основании требований по точности имитации невесомости и из условий эксплуатации стендов имитации невесомости приняты следующие требования к системе обезвешивания:

1 Система обезвешивания должна обеспечивать отслеживание перемещения объекта в трех координатах, а также создавать момент компенсирующий внешнее усилие.

2 Относительная потеря энергии элементами МС на стенде должна быть сведена до минимума, определяемого техническими возможностями.

3 Требования к стенду раскрытия можно снизить, если задачей раскрытия является только подтверждение надежности функционирования.

4 Силы сопротивления раскрытию не должны превышать величин, при которых исполнительный механизм будет нагружен более чем на 70% от его максимального момента или усилия.

5 Силы, помогающие раскрытию не должны превышать величины момента сопротивления механизма.

6 Нагрузка на элементы конструкции не должна превышать предела прочности [16].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В общей части магистерской диссертации рассмотрены назначение космической обсерватории Миллиметрон, ее конструкции (механические системы) и параметры. Рассмотрены способы раскрытия механических систем космических аппаратов существующие на сегодняшний день. Изучены виды экспериментальной отработки механических систем космического аппарата, а так же технические требования для создания условий невесомости.

В специальной части была выбрана механическая система обсерватории Миллиметрон, а именно система раскрытия теплозащитных экранов. Для данной механической системы были определены основные цели и задачи проведения испытаний, а так же цели и задачи с которыми проводится разработка рабочего места. После выявления основных целей и задач, были рассмотрены основные части, входящие в рабочее место для раскрытия механических систем, необходимые для проведения испытаний СТЭ. Рассмотрена подробная установка комплекта для испытаний и самого объекта испытаний.

Мною предложена методика юстировки основных узлов, влияющих на раскрытие системы теплозащитных экранов, а именно выставка подставки горизонтально относительно кольца в сборе и выставка центра подставки относительно центра кольца в сборе, с применением измерительной системы на базе - лазерного радара MV-260(264). Результаты измерения при помощи лазерного радара удовлетворили требования КД и показали правильность выбранного метода.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

БС – батарея солнечная;
БУ – блок управления;
ГЗ – главное зеркало;
КА – космический аппарат;
КВУ – контрольно – весовая установка;
КД – конструкторская документация;
КДИ – конструкторско-доводочные испытания;
КР – контррефлектор;
КТ – космический телескоп;
КТИ – крупногабаритные трансформируемые изделия;
КТМ – космический телескоп «Миллиметр»;
МУ – механическое устройство;
МС – механические системы;
Мшу – момент шарнирного узла;
НОК – неохлаждаемый контейнер;
НЭО – наземно - экспериментальная отработка;
ОИ – объект испытаний;
ОК – охлаждаемый контейнер;
ОКР – опытно - конструкторские работы;
ОСО – опора систем охлаждения;
ПРИ – приемосдаточные испытания;
СК – система координат;
СКВС – система компенсации весовой составляющей;
СТЭ – система теплозащитных экранов;
ТЗ – техническое задание
ТП – технический проект;
ТЭ – теплозащитный экран;
ФП – фотопреобразователи;

ЦЗ – центральное зеркало;

ЭВТИ – экранно – вакуумная теплоизоляция.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1Кардашев, Н.С., Проект «Миллиметр» / Н.С. Кардашев, В.В., Андреев, В.И. Буякас и др. // Труды Физического института им. П.Н. Лебедева. – 2000. – том 228. – С. 112-128.

2Шатров, А.К. Основы конструирования механических устройств космических аппаратов. Конструктивные решения, динамические характеристики / А.К. Шатров [и др.]. – Красноярск: СибГАУ, 2009. – 144 с.

3 Чеботарёв, В. Е. Основы проектирования космических аппаратов информационного обеспечения: учебное пособие / В. Е. Чеботарев, В. Е. Косенко Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. – Красноярск, 2011. – 448с.

4Гущин, В.Н. Основы устройства космических аппаратов / В.Н. Гущин. - Москва: Машиностроение, 2003.

5 Краевский, П.А., Механизм раскрытия главного зеркала космической обсерватории «Миллиметр»/ П.А. Краевский, Е.А. Шевцов, Э.А. Давлетбаев // Решетнёвские чтения: Материалы XIV Международной научной конференции.– Том 1. – Красноярск: СибГАУ, 2010. – С. 63.

6 Беляков, И.Т. Основы космической технологии: учеб. пособие / И.Т. Беляков, Ю.Д. Борисов. -Москва: Машиностроение, 1980.-184с.

7 Экспериментальная отработка космических летательных аппаратов / В.А. Афанасьев, В.С. Барсуков, М.Я. Гофин, Ю.В. Захаров, А.Н. Стрельченко, Н.П. Шалунов; Под редакцией Н.В. Холодкова. – Москва: Изд - во МАИ, 1994. - 412с.

8 И.Т. Беляков, Технология сборки и испытаний космических аппаратов / И.Т. Беляков, И.А. Зернова, Е.Г. Антонов // Учебное издание. 1990. С. 142-144 2.

9 А.с.1467418 СССР, МКИГ01М 13/02, F16H 21/16. Стенд для моделирования невесомости двухзвенных механизмов / А.В. Медарь, В.Б. Бурыкин, Я.Ф. Гайдено, Д.С. Михайлов, В.М. Бажанов, В.П. Кравченко, С.В. Баллошин, Е.В.

Морозов, С.М. Осохин (СССР). - №4238824/25-28 ; заявл. 04.05.87; опубл. 32.03.89. Бюл. № 11. – 2 с.

10 А.с. 1722946СССР, МКИВ64G 7/00, G01M 17/00. Исполнительный механизм имитатора пониженной гравитации / Ю.Б. Суханов, Д.А. Романов, А.В. Бычков (СССР). - № 4716885/23 ;заявл. 07.07.89. опубл. 30.03.92. Бюл. № 12 – 2 с.

11 Пат. 2334970 Российская Федерация, МКИ G01M 19/00, B64G 7/00. Устройство имитации невесомости механизмов с гибкой конструкцией элементов. / А.А. Дроздов, С.В. Агашкин, М.М. Михнев, А.Р. Ушаков ; патентообладатель – Федеральное государственное унитарное предприятие "Научно-производственное объединение прикладной механики им. академика М.Ф. Решетнева". - № 2006126310/28 ; заяв. 19.07.06. опубл. 27.09.08. Бюл. № 27 – 3 с.

12 А.с.1828261 СССР, МКИ B64G 7/00, G01M 19/00. Устройство обезвешивания элементов / Г.Е Ануприенко, Ю.А. Карпачев, Л.М. Кухоцкий, А.А. Моишеев, В.Н. Павлюк, Ю.Н. Рудык, Ю.Н. Савенко (СССР). - № 4893917/23 ; заявл. 25.12.90.опубл. 20.09.96. Бюл. № 26 – 2 с.;

13КовалевИ.В., Мобильнаясистема имитации невесомости для крупногабаритных космических аппаратов /И.В. Ковалев,Ю.О. Кикоть // Вестник СибГАУ. 2014. Вып. 4(56). С. 173 – 178

14 Надежность и эффективность в технике. Том 1: Методология. Организация. Терминология / ред. А.И. Рембеза. – Москва: Машиностроение, 1986. – 224 с.

15 Пудовкин, А.П. Основы теории антенн: учебное пособие / А.П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк, А. А. Иванков. – Тамбов: Энергосервис, 1974. – 224 с.

16Космические вехи: сборник научных трудов, посвященных 50- летию созданию АО «ИСС» имени академика М.В. Решетнева. - Красноярск, ИП Суховольская Ю.П.,2009. – 704с.

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт
институт

Межинститутская базовая кафедра
«Прикладная физика и космические технологии»
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой


подпись В.Е. Косенко
инициалы, фамилия
« 20 » 06 2017 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

РАЗРАБОТКА РАБОЧЕГО МЕСТА ДЛЯ РАСКРЫТИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ
СИСТЕМ ОБСЕРВАТОРИИ МИЛЛИМЕТРОН

тема


15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств»

код и наименование направления

15.04.05.02 «Технология космических аппаратов»

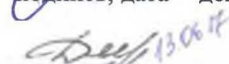
код и наименование магистерской программы

Научный руководитель


подпись, дата 13.06.17
доцент МБК ПФКТ
канд. техн. наук
должность, ученая степень

Г.В. Двирный
инициалы, фамилия

Выпускник


подпись, дата 13.06.17

Е.В. Дубровина
инициалы, фамилия

Рецензент


подпись, дата 13.06.17
Ведущий инженер
АО «ИСС»
должность, ученая степень

С.В. Хаецкий
инициалы, фамилия

Нормоконтролер


подпись, дата 16.06.17

Е.С. Сидорова
инициалы, фамилия

Красноярск 2017



Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт
Институт
Межинститутская базовая кафедра
«Прикладная физика и космические технологии»
Кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 В.Е. Косенко

«  »  20 17г.

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме магистерской диссертации

Студенту Дубровиной Елене Васильевне

фамилия, имя, отчество

Группа МТ15-04 М Направление 15.04.05 «Конструкторско-

номер

код

технологическое обеспечение машиностроительных производств».

Специализированная программа подготовки 15.04.05.02 «Технология

код

космических аппаратов».

Тема магистерской диссертации (МД): Разработка рабочего места для раскрытия механических систем обсерватории Миллиметрон

Утверждена приказом по университету № 16482/с от 30.10.2015 г.

Руководитель МД: Двирный Гурий Валерьевич канд. техн. наук, доцент Межинститутской базовой кафедры «Прикладная физика и космические технологии».

Исходные данные для МД: Рассмотреть трансформируемые элементы с возможностью самостоятельного складывания и развертывания в процессе штатной работы на орбите в обсерватории Миллиметрон. Рассмотреть способы обезвешивания механических систем космического аппарата.

Разработать оборудование для обезвешивания механической системы теплозащитных экранов обсерватории Миллиметрон.

Перечень рассматриваемых вопросов (ВКР): Анализ конструкций и параметров космической обсерватории Миллиметрон, проведение раскрытия механической системы теплозащитных экранов обсерватории Миллиметрон.

Перечень разделов МД:

1 Космическая обсерватория Миллиметрон

2 Способы раскрытия механических систем КА

3 Разработка рабочего места для испытания системы теплозащитных экранов обсерватории Миллиметрон

Иллюстрационный материал: слайды презентации в количестве 16 штук.

Руководитель ВКР


Подпись

Г.В. Двирный

инициалы и фамилия

Задание принял к исполнению


подпись

Е.В. Дубровина

инициалы и фамилия студента

« 26 » октября 2015г.